



⑬ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 41 06 841 A 1**

⑮ Int. Cl.^B:
G 01 N 21/63
H 01 L 21/86
G 01 B 11/06

⑲ Aktenzeichen: P 41 06 841.6
⑳ Anmeldetag: 4. 3. 91
㉑ Offenlegungstag: 10. 9. 92

DE 41 06 841 A 1

㉒ **Anmelder:**
Tencor Instruments, Mountain View, Calif., US

㉓ **Vertreter:**
Kahler, K., Dipl.-Ing., 8948 Mindelheim; Käck, J.,
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anwälte, 8910
Landsberg

㉔ **Erfinder:**
Stokowski, Stanley, Danville, Calif., US; Wolze,
David, San Jose, Calif., US; Neukermans, Armand
P., Palo Alto, Calif., US

㉕ **Verfahren zum Bestimmen von Kontaminationen mittels Photoemission**

㉖ Es werden Verfahren zum Feststellen einer Kontaminationsschicht und, falls vorhanden, deren Dicke oder irgend-einer anderen räumlichen Ausdehnung dieser Schicht an jeder einer Vielzahl von Stellen auf der Oberfläche eines elektrisch leitenden Materials, wie z. B. eines Halbleiters, eines Metalls oder eines Metallsilizids vorgeschlagen. Die Erfindung macht Gebrauch von einer Änderung des Photoemissionsstromes an der beleuchteten Stelle auf der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials, um die Existenz und das Ausmaß einer Kontaminationsschicht an der beleuchteten Stelle festzustellen. Kapazitive und photovoltaische Stromeffekte werden kompensiert. Die Erfindung sieht ein Muster von Beleuchtungsstellen auf der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials vor, das, falls erwünscht, alle Punkte auf dieser Oberfläche abdecken kann.

DE 41 06 841 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen von Kontaminationen mittels Photoemission, die durch Licht angeregt wird.

Kontaminationsschichten, die auf der Oberfläche eines elektrisch leitenden Materials, wie z. B. eines Halbleitermaterials, eines Silizids oder eines Metalls vorhanden sind und deren Dicken von wenigen Angström bis zu etwa 100 Angström reichen, sind für die Bearbeitung von Chips, die integrierte Schaltungen enthalten, von wesentlicher Bedeutung. Die Kontaminationen bzw. Verunreinigungen können natürliche bzw. native Oxide auf freiliegendem Silizium oder einem anderen Halbleitermaterial, natürliche oder gezogene Oxide auf polykristallinem Silizium, Photolackflecken auf Halbleiterscheiben und organische Schichten, die auf der Halbleiterscheibe durch Diffusion von anderen Flächen oder durch Adhäsion erzeugt werden, einschließen.

Das Vorliegen dieser Kontaminationsschichten führt häufig zu unannehmbaren Unsicherheiten hinsichtlich der Leistung der auf dem Chip befindlichen Schaltungen. Beispielsweise kann die Gegenwart eines Oxids auf einer Fläche aus polykristallinem Silizium sich im Hinblick auf das Anhaften nachfolgend abgelagerter Schichten, wie z. B. Siliziden, sehr negativ auswirken und somit ein Ablösen dieser Schichten von dem benachbarten polykristallinen Silizium bewirken. Das Vorhandensein eines natürlichen Oxids auf freiliegendem Silizium kann einen Kontaktwiderstand erzeugen, der den zu solch einer Schicht hinfließenden bzw. den von dieser Schicht wegfließenden elektrischen Strom wesentlich verringert.

Quantitative Informationen über diese Kontaminationen können häufig auf freiliegendem Silizium unter der Voraussetzung erhalten werden, daß die Stellen der Kontaminationen bekannt sind und die Kontaminationsschichtdicke einige 10 Angström überschreitet. Jedoch sind diese Messungen, ob diese nun durch Ellipsometrie oder Reflektometrie erhalten werden, recht zeitaufwendig, da man bei jeder Messung nur die Information über einen sehr kleinen beleuchteten Flecken erhält. Ist die Kontamination nicht gleichmäßig über die Fläche der Halbleiterscheibe verteilt, so benötigt man sehr viel Zeit, um ein exaktes Bild über das Ausmaß der Kontamination über die gesamte Fläche zu erhalten.

Außerdem kann die Oberflächenrauheit des zu untersuchenden Substrats oder einer anderen zu untersuchenden Schicht die Existenz von dünnen Kontaminationsschichten verdecken, falls für die quantitativen Messungen die Ellipsometrie oder die Reflektometrie verwendet wird. Zum Beispiel müssen Ellipsometriestudien sich auf das Vorliegen einer "Zwischenschicht" von unbekannter Zusammensetzung berufen, um die Diskrepanz zwischen theoretischen Vorhersagen und experimentellen Ergebnissen zu erklären, obwohl diese Zwischenschichten nie aus Strahlungselektronenmikroskopaufnahmen ersichtlich sind. Ferner besteht die Tendenz, daß die Empfindlichkeit solcher Methoden abnimmt, falls die Schichten nur wenige Angström dick sind, da dann die Interferenzeffekte ganz gering sind.

Ferner wurden andere Methoden zur Prüfung der Eigenschaften eines sich in der Nähe einer Substratfläche befindlichen Substratmaterials offenbart. In Jour. Appl. Phys. 46 (1975), Seiten 1553 bis 1558 wird eine Vielzahl dieser Methoden untersucht und die Verwendung einer Photoemission in bezug auf Aluminium und Nickel offenbart, das einen Oxidfilm auf einer freige-

setzten Fläche des Metalls aufweist oder aufweisen könnte. Für Oxidfilme, wie z. B. NiO, die selbst photoemittierend sind, schließt die Photoelektronenemission einen Strom, der im Metall erzeugt wird, und einen Strom, der in dem Oxidfilm erzeugt wird, ein. Bei anderen Oxidfilmen, wie z. B. Al_2O_3 , die nicht photoemittierend sind, resultiert die Photoelektronenemission primär aus dem Metall, wobei das Oxid dafür eine Maske vorsieht. Die meisten Oxide, die von Interesse sind, sind nicht photoemittierend.

In Appl. Phys. Lett. 55 (1989), Seiten 481 bis 483 wird die Anwendung der Photoemission zur Durchführung einer Rasterelektronenmikroskopie von dotierten Bereichen auf Halbleiterflächen beschrieben. Nach Auffassung der Autoren kann mit diesem Verfahren eine in situ Untersuchung der Dotierungsniveaus oder Dotierungsmuster unmittelbar unter der Oberfläche in einer Halbleiterscheibe vorgesehen werden, und zwar mit einer räumlichen Auflösung von wenigen Wellenlängen des Abtaststrahls. Zur Abtastung der Oberfläche wird ein fokussierter UV-Laserstrahl verwendet, wobei die Unterschiede der Oberflächeneigenschaften im Halbleiterscheibenmaterial bei solchen Unterschieden des emittierten Photoelektronenstroms wahrgenommen werden. Hierzu ist in der Elektronenauffangkammer ein Druck in der Größenordnung von 10^{-3} bis 10^{-1} Pascal und eine Vorspannung in der Größenordnung von 70 Volt oder mehr erforderlich. Außerdem muß, wie oben dargelegt, zur Beleuchtung der Oberfläche ein Laserstrahl verwendet werden.

Die vorstehend erwähnten Methoden bzw. Systeme zur Überwachung des von einer Halbleiterfläche oder in der Nähe einer Halbleiterfläche emittierten Photoelektronenstroms weisen eine Reihe von Nachteilen auf. Infolge der Vorspannung, die zwischen der Auffangelektrode für die geladenen Teilchen und der darunter liegenden Halbleiterscheibe aufrecht erhalten wird, wird bei einer geringen Änderung des Abstands zwischen der Auffangelektrode und der Halbleiterscheibe ein kapazitiver Strom induziert, der sich zeitlich ändern kann. Da die Auffangelektrode relativ groß ist und die Extraktionsspannungen ebenso groß sind, kann der induzierte kapazitive Strom wesentlich größer als der zu messende Photoelektronenstrom sein. Es ist deshalb wünschenswert, eine Einrichtung zum Kompensieren eines zwischen der Halbleiterscheibe und der Auffang- bzw. Sammelelektrode erzeugten kapazitiven Stromes vorzusehen. Diese Kompensationseinrichtung sollte den kapazitiven Strom überwachen können, der bei irgendeinem Abstand zwischen Halbleiterscheibenoberfläche und Sammelelektrode hervorgerufen wird, und sollte ausreichend kompakt aufgebaut sein, damit diese in das Photoelektronenstromüberwachungssystem eingebaut werden kann.

Ein anderes Problem bei den vorstehend erläuterten Photoelektronenstromüberwachungssystemen besteht darin, daß ein photovoltaischer Strom auch durch die Lichtstrahlbeleuchtung induziert werden kann, was sich negativ auf das Stromausgangssignal auswirkt. Ein photovoltaischer Strom kann in einem Halbleitermaterial bei einer Photonenenergie induziert werden, die wesentlich größer als der Energiebandabstand E_g für dieses Material ist, wobei der Energiebandabstand im allgemeinen viel geringer als die Austrittsarbeit W für das Material ist. Beispielsweise reicht die Austrittsarbeit oder photoelektrische Schwelle für blankes Silizium von 4,60 bis 5,11 eV in Abhängigkeit von der Kristallrichtung parallel zum einfallenden Lichtstrahl, während der

Energiebandabstand in blankem Silizium nur 1,12 eV beträgt. Falls der photovoltaische Strom über die Oberfläche der Halbleiterscheibe gleich ist, würden seine Auswirkungen auf den sich durch die Photoemission ergebenden Photoelektronenstrom gering sein und könnten im System beseitigt werden. Jedoch wird der photovoltaische Strom durch Versetzungen oder andere Fehler im Halbleitermaterial örtlich beeinflusst. Deshalb ist es wahrscheinlich, daß der induzierte photovoltaische Strom auf der Oberfläche der Halbleiterscheibe sich von Ort zu Ort ändert. Was benötigt wird, ist somit eine Einrichtung zum Kompensieren des photovoltaischen Stromes, was auch immer für eine Lichtstrahlintensität verwendet wird. Vorzugsweise sollte diese Kompensationseinrichtung hinreichend kompakt sein, so daß diese in das Photoelektronenstromüberwachungssystem eingebaut werden kann.

Es ist somit Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Bestimmen von Kontaminationen mittels Photoemission vorzuschlagen, das sich einfach und mit geringem Zeitaufwand ausführen läßt und exakte Ergebnisse liefert.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruches 1 bzw. 10 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 9.

Die Erfindung betrifft somit ein Verfahren zum Feststellen der Anwesenheit von Kontaminationen und, falls vorhanden, deren Dicken an jeder einer Vielzahl von Stellen bzw. Orten auf der Oberfläche eines elektrisch leitenden Materials.

Dieses Verfahren schließt folgende Verfahrensschritte ein:

- 1) Sequentielles Beleuchten jeder Stelle mit einem Lichtstrahl, der eine Wellenlängenkomponente mit einer Photonenenergie aufweist, die größer als die Austrittsarbeit des Materials ist, so daß Photoelektronen von dem unter der Stelle liegenden leitenden Material freigesetzt werden;
- 2) Vorsehen einer Elektronenauffangeinrichtung zum Bestimmen des Photoelektronenstromes, der an dieser Stelle austritt;
- 3) Kompensieren von kapazitiven Stromeffekten, die sich aufgrund einer Änderung des Abstands zwischen Halbleiterfläche und Elektronenauffangeinrichtung ergeben; und
- 4) Kompensieren von photovoltaischen Stromeffekten, die auftreten, wenn die Energie der Lichtstrahlphotonen größer als die minimale Energie E_g ist, die benötigt wird, um ein Elektron von einem Valenzband zu einem Leitungsband anzuheben.

Die Verfahrensschritte (3) und (4) können unabhängig voneinander hinzugefügt oder weggelassen werden.

Eine Technik zum Kompensieren von kapazitiven Stromeffekten besteht darin, daß man eine zweite Elektronenauffangeinrichtung vorsieht, die an die erste Elektronenauffangeinrichtung angrenzt und von der Oberfläche den gleichen Abstand aufweist, wobei diese zweite Elektronenauffangeinrichtung jedoch nicht direkt über der beleuchteten Stelle liegt. Diese zweite Elektronenauffangeinrichtung erfaßt nur den kapazitiven Strom, falls vorhanden. Werden die von der ersten und zweiten Elektronenauffangeinrichtung erfaßten Ströme voneinander subtrahiert, so wird dadurch der Effekt des kapazitiven Stromes aus dem endgültigen Signal "heraussubtrahiert".

Eine Technik zum Kompensieren eines photovoltaischen

Stromes besteht darin, daß man eine Stelle auf der Oberfläche mit Hilfe eines ersten Lichtstrahls, dessen Energie wesentlich größer als die Austrittsarbeit des Halbleitermaterials ist, und eines zweiten Lichtstrahls beleuchtet, dessen Photonenenergie merklich geringer als die Austrittsarbeit des Halbleitermaterials ist, jedoch den Bandabstand bzw. die Energielücke zum Erzeugen eines photovoltaischen Stromes im Halbleitermaterial übersteigt. Die beiden Lichtstrahlen beleuchten die Stelle der Oberfläche zu verschiedenen Zeiten und die beiden Stromsignale werden voneinander subtrahiert, um die Effekte des photovoltaischen Stromes in dem resultierenden Signal zu entfernen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht, die die Beleuchtung verschiedener Stellen der Halbleiterscheibenoberfläche mittels eines Lichtstrahls verdeutlicht, wobei die Position des Lichtfleckens oder der Spur des Lichtstrahls durch Verschiebung und/oder Drehung der Halbleiterscheibe oder der Leuchtspur des Lichtstrahls geändert werden kann;

Fig. 2 eine schematische Seitenansicht, die die Beleuchtung einer Oberflächenstelle zur Beseitigung eines kapazitiven Stromeffekts verdeutlicht;

Fig. 3 ein Diagramm, das die Änderung des Photoelektronenstromes in bezug auf die Dicke der Kontamination verdeutlicht, die auf der beleuchteten Stelle der Oberfläche vorliegt;

Fig. 4 und 7 zwei mögliche Wege für die Lichtstrahlspur auf der Halbleitermaterialoberfläche, nämlich einen spiralförmigen Weg bzw. einen serpentinenförmigen Weg;

Fig. 5 eine grafische Darstellung, die die relative Intensität von zwei glockenförmigen Lichtstrahlen verdeutlicht, die an zwei benachbarten Stellen auf der Oberfläche zentriert sind;

Fig. 6 eine grafische Darstellung, die die relative Intensität von zwei zylinderhutförmigen Lichtstrahlen verdeutlicht, die an zwei benachbarten Stellen bzw. Positionen auf der Oberfläche zentriert sind; und

Fig. 8 und 9 zwei schematische Seitenansichten von Ausführungsbeispielen, die eine Kompensation von photovoltaischen Stromeffekten ermöglichen.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, schließt ein System 11 zum Überwachen eines sich an einer Stelle auf der Oberfläche einer Halbleiterscheibe 13 oder eines anderen elektrisch leitenden Materials ausgebildeten Photoelektronenstroms eine Lichtquelle 15 und eine Linse 17 zum Beleuchten einer Stelle 19 auf der Oberfläche der Halbleiterscheibe 13 ein. Anstatt der Linse 17 kann auch ein anderes optisches Element Verwendung finden, das den Lichtstrahl von der Lichtquelle 15 empfängt und diese auf die betreffende Stelle auf der Oberfläche der Halbleiterscheibe 13 fokussiert. Oberhalb und benachbart der Stelle 19 ist eine Elektronenauffangeinrichtung 21 positioniert, um Photoelektronen aufzufangen, die durch die Photoemissionswirkung des Lichtstrahls in dem Halbleitermaterial unmittelbar unter der vom Lichtstrahl beleuchteten Stelle 19 erzeugt werden. Die Halbleiterscheibe 13 kann in der Ebene ihrer Oberfläche um einen zentralen Punkt gedreht werden, wobei entweder das Lichtstrahlensystem oder die Halbleiterscheibe 13 relativ zueinander verschoben werden können, so daß die beleuchtete Stelle 19 eine Lichtstrahlspur beschreibt, die sich auf der Oberfläche der Halbleiterscheibe 13 umherbewegt. An jeder beleuchteten Stelle 19 kann die Halbleiterscheibe 13 teilweise oder insge-

samt mit einer Kontaminationsschicht von unbekannter Dicke oder räumlicher Ausdehnung bedeckt sein. Wird eine Stelle 19 einer Beleuchtung ausgesetzt, so wird ein wesentlicher Teil der Lichtstrahlenergie durch atomare Bestandteile absorbiert, die nahe und unterhalb der beleuchteten Stelle im elektrisch leitenden Material liegen. Weist der Lichtstrahl eine Wellenlängenkompone-
 5 mit einer Photonenenergie auf, die wesentlich größer als die Austrittsarbeit W des Materials ist, so werden durch die bekannte Photoemissionswirkung im leitenden Material Photoelektronen aus dem Material freigesetzt. Ein Teil der derart in dieser Schicht freigesetzten Photoelektronen wird zur Oberfläche und dann durch die Kontaminationsschicht, falls auf der Oberfläche vorhan-
 10 den, transportiert und schließlich mit Hilfe der unmittelbar über der beleuchteten Stelle 19 angeordneten Elektronenauffangeinrichtung 21 gesammelt. Falls eine Kontaminationsschicht auf einem Teil der beleuchteten Stelle 19 oder auf der gesamten beleuchteten Stelle 19 auf der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials 13 vorhanden ist, so wird der von der Elektronenauffang-
 20 einrichtung 21 ermittelte Photoelektronenstrom im Vergleich zu einem Photoelektronenstrom, der bei fehlender Kontaminationsschicht ermittelt wird, wesentlich geringer sein. Somit wird der durch die Photoelektronenemission hervorgerufene Strom wesentlich durch das Vorliegen oder Fehlen von irgendwelchen an der beleuchteten Stelle 19 die Oberfläche des leitenden Materials überdeckenden Kontaminationsschichten beein-
 25 flußt.

Fig. 2 verdeutlicht ein System zum Erfassen der Exi-
 30 stenz und möglicherweise der Dicke oder einer anderen räumlichen Ausdehnung von Kontaminationen, die an einer Vielzahl von Stellen auf der Oberfläche eines lei-
 35 tenden Materials vorliegen. Dieses System 31 umfaßt eine geerdete Schicht 33 aus elektrisch leitendem Material, bei dem eine Photoemission hervorgerufen wird, und eine Lichtquelle 35 zur Erzeugung eines Licht-
 40 strahls 36, der durch eine Linse 37 oder andere optische Komponenten fokussiert wird, um auf der Oberfläche der Schicht bzw. des Materials 33 eine Stelle 39 zu be-
 45 leuchten. Wie oben erläutert, tritt bei dem Material 33 eine Photoemission auf, wobei ein Teil der dadurch frei-
 50 gesetzten Photoelektronen mit Hilfe einer ersten Elek-
 55 tronenauffangeinrichtung 41 aufgesammelt werden, die angrenzend an die beleuchtete Stelle 39 und über dieser angeordnet ist. Diese erste Elektronenauffangeinrich-
 60 tung 41 kann eine Elektrode sein, die in bezug auf die Wellenlänge des Lichtstrahls 36 durchlässig bzw. trans-
 65 parent ist, so daß die Elektrodenmaterial ausgebildet werden kann. Alternativ kann die erste Elektronenauf-
 fangeinrichtung 41, wie z. B. aus Fig. 2 ersichtlich, ein Ring aus Elektrodenmaterial sein, durch dessen zentrale Öffnung der Lichtstrahl 36 hindurchgeht. Eine positive
 Spannungsdifferenz wird mit Hilfe einer Vorspannungs-
 einrichtung 43 vorgesehen, die zwischen der ersten
 Elektronenauffangeinrichtung 41 und einem für diese
 Auffangeinrichtung vorgesehenen Stromsensor ange-
 ordnet ist. Der Photoelektronenstrom erzeugt ein Sig-
 nal, das mit Hilfe eines ersten Verstärkers 45 verstärkt
 und als ein erstes Ausgangssignal auf eine Signalaus-
 gangsleitung 47 ausgegeben wird.

Kapazitive Stromeffekte können auftreten, falls sich der Abstand zwischen Elektronenauffangeinrichtung
 65 und der Emissionsfläche mit der Zeit ändert. Kapazitive Stromeffekte werden in dem System 31 in Fig. 2 da-
 durch kompensiert, daß eine zweite Elektronenauffang-

einrichtung 49 vorgesehen wird, die im gleichen Ab-
 stand wie die erste Elektronenauffangeinrichtung 41
 über der Oberfläche des leitenden Materials 33 ange-
 ordnet ist. Eine positive Spannungsdifferenz wird mit
 5 Hilfe einer Vorspannungseinrichtung 50 vorgesehen, die
 zwischen der zweiten Elektronenauffangeinrichtung 49
 und einem für diese Auffangeinrichtung vorgesehenen
 Stromsensor angeordnet ist. Die zweite Elektronenauf-
 fangeinrichtung 49 ist mit Abstand zur ersten Elek-
 10 tronenauffangeinrichtung 41 angeordnet, so daß die zweite
 Elektronenauffangeinrichtung 49 über einem Teil der
 Oberfläche angeordnet ist, der gegenwärtig vom Licht-
 strahl nicht beleuchtet wird. Somit ist der von der zwei-
 15 ten Elektronenauffangeinrichtung 49 ermittelte Strom
 nur auf kapazitive Effekte zurückzuführen, wobei dieser
 Beitrag zum Gesamtstrom gleichfalls in dem Strom vor-
 handen ist, der von der ersten Elektronenauffangein-
 richtung 41 empfangen wird. Der von der zweiten Elek-
 20 tronenauffangeinrichtung 49 empfangene Strom wird
 mit Hilfe eines Verstärkers 51 verstärkt und als zweites
 Ausgangssignal auf eine Signalausgangsleitung 53 aus-
 gegeben. Aus den beiden Ausgangssignalen, die auf den
 Signalausgangsleitungen 47 und 53 vorliegen, wird mit
 25 Hilfe eines Differenz-Moduls 55 ein Differenzsignal er-
 zeugt, das als Systemausgangssignal auf eine Ausgangs-
 signalleitung 57 ausgegeben wird.

Wahlweise kann eine elektrische Abschirmung 59
 30 oder ein anderer Behälter vorgesehen werden, der die
 Halbleiterscheibe 33 aus elektrisch leitendem Material
 und die beiden Elektronenauffangeinrichtungen 41 und
 49 umgibt. Das Innere der Abschirmung oder des Behäl-
 35 ters 59 kann ein Gas wie z. B. He, Ne, Ar, Kr, Xe oder N₂
 oder ein anderes Gas, das keinen Sauerstoff enthält und
 bei dem es relativ unwahrscheinlich ist, daß eine Anlage-
 40 rung von Elektronen an die Atome oder Moleküle eines
 derartigen Gases zugelassen wird, enthalten. Ein Gas,
 das eine Elektronenanlagerung an seine Atome oder
 Moleküle zuläßt, erzeugt eine negative Gesamtladung,
 die sich negativ auf den an der Elektronenauffangein-
 45 richtung hervorgerufenen Photoelektronenstrom aus-
 wirkt und diesen reduziert. Demzufolge sollte die Ver-
 wendung von Gasen unterbleiben, die keine relativ
 niedrige Wahrscheinlichkeit für eine Elektronenanlage-
 rung aufweisen. Gasdrücke in der Größenordnung von
 50 10^{-1} bis 10^5 Pascal sind hier akzeptabel.

Fig. 3 verdeutlicht auf grafischem Wege die Abnah-
 me des in Ampere ausgedrückten Photoelektronen-
 55 stroms für eine Zunahme der Dicke der Kontamina-
 tionsschicht, die die Elektronen durchlaufen müssen, ehe
 diese an der Elektronenauffangeinrichtung aufgefangen
 werden. Der Photoelektronenstrom kann um vier bis
 sechs Größenordnungen bzw. Zehnerpotenzen verrin-
 60 gert werden, falls eine Zunahme der Dicke der Kon-
 taminationsschicht in der Größenordnung von 100 Å-
 ström liegt. Die Erfindung kann dazu verwendet wer-
 den, um das Vorliegen und etwa die Dicke oder eine
 andere räumliche Ausdehnung einer Kontaminations-
 schicht festzustellen, die an einer bestimmten beleuch-
 teten Stelle auf der Oberfläche einer Halbleiterscheibe
 vorliegt.

Fig. 4 verdeutlicht einen spiralförmigen Weg 61, der
 durch die Lichtstrahlspur auf der Oberfläche der Halb-
 65 leiterscheibe 63 definiert wird. Bei einem Ausführungs-
 beispiel können mehrere diskrete, annähernd kreisförmige
 Leuchtstrahlspuren 65-N, 65-(N+1), 65-(N+2),
 die sich längs des spiralförmigen Weges 61 aufeinander-
 folgend überlappen, als beleuchtete Stellen auf der
 Oberfläche der Halbleiterscheibe 63 verwendet werden.

Alternativ kann die diskrete Vielzahl von beleuchteten Stellen durch ein kontinuierliches Band von derartigen Stellen ersetzt werden, wie dies durch die in Fig. 4 gezeigte Hüllfläche dargestellt ist, die durch die beiden gestrichelten Linien 67-1 und 61-2 definiert ist.

Wird die Spirale durch eine radiale Koordinatenabhängigkeit $r = r(\Theta) = r_1\Theta$ definiert, wobei Θ die Winkelkoordinate in einer Ebene ist, so bewegt sich die Lichtstrahlspur mit annähernd konstanter linearer Geschwindigkeit auf der Oberfläche, falls die zeitliche Änderung bzw. Änderungsgeschwindigkeit der Winkelkoordinate Θ und die der radialen Koordinate r durch die Gleichung

$$[r^2 + r_1^2] \Theta^2 = \text{konstant}$$

verknüpft sind.

Für alle Wege und Muster wird eine Lichtstrahlspur bevorzugt, die sich mit annähernd konstanter linearer Geschwindigkeit bewegt.

Fig. 7 verdeutlicht die alternative Verwendung eines serpentinenförmigen Weges 71, der auf der Oberfläche einer Halbleiterscheibe 73 verläuft und sich serpentinartig hin- und herwindet, um alle Beleuchtungsstellen auf der Oberfläche einzuschließen. In Fig. 7 kann eine Vielzahl von diskreten beleuchteten Stellen 75-N, 75-(N+1), 75-(N+2) durch die Lichtstrahlspur definiert werden, während die Projektion des Lichtstrahls sich längs des serpentinenförmigen Weges 71 bewegt. Alternativ kann ein kontinuierliches Band von Beleuchtungsstellen verwendet werden, das durch eine Hüllfläche bestimmt wird, die durch die in Fig. 7 dargestellten beiden gestrichelten Kurven 77-1 und 77-2 verdeutlicht wird. Verwendet man dieses kontinuierliche Band alternativ zu dem spiralförmigen Muster in Fig. 4 oder zu dem serpentinenförmigen Muster in Fig. 7, so stellt das Photoelektronenstromsignal, das von der Elektronenauffangeinrichtung 41 in Fig. 2 empfangen wird, einen kontinuierlichen Satz von Signalen dar, und zwar anstelle einer Folge von diskreten Signalen, die an der Elektronenauffangeinrichtung empfangen wird, falls mehrere diskrete Beleuchtungsstellen auf der Oberfläche des Materials vorgesehen sind.

Falls die gesamte Oberfläche der Halbleiterscheibe oder ein wesentlicher Teil davon durch die Anhäufung der Beleuchtungsstellen abgedeckt werden soll, müssen sich die Beleuchtungsstellen auf den Teilen der so abzudeckenden Oberfläche überlappen. Weist der Lichtstrahl eine normale Gauß'sche oder glockenförmige Intensität als Funktion des radialen Abstands vom Zentrum des Strahls auf, so werden zwei benachbarte Lichtstrahlen, die an den Beleuchtungsstellenzentren N und N+1 zentriert sind, die in Fig. 5 dargestellten relativen Intensitätsverteilungen aufweisen. Es ist somit für Lichtstrahlen, die zwei benachbarte Stellen beleuchten, eine ausreichende Überlappung erforderlich, so daß die Summe ihrer Intensitäten im Überlappungsbereich mindestens so groß wie die maximale Intensität jedes isoliert betrachteten Lichtstrahls ist. Hat der verwendete Lichtstrahl eine "zylinderhutförmige" Form, bei der die Intensität bei einem bestimmten Radius von der maximalen Intensität zu annähernd Null sehr steil abnimmt, so müssen sich die Lichtstrahlspuren für zwei benachbarte Stellen N und N+1 wieder überlappen, so daß die Summe ihrer Intensitäten im Überlappungsbereich mindestens der maximalen Intensität jedes isoliert betrachteten Lichtstrahls entspricht. Dies ist in Fig. 6 für zwei benachbarte zylinderhutförmige Lichtstrahlspuren ver-

deutlicht.

Fig. 8 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung, das zur Bestimmung der Existenz, der Dicke oder einer anderen räumlichen Ausdehnung von Kontaminationen auf einer Oberfläche einer Halbleiterscheibe 33 verwendet werden kann, falls ein im Material der Halbleiterscheibe 33 vorliegender photovoltaischer Strom kompensiert werden soll. Ein photovoltaischer Strom wird in einem elektrisch leitenden Material immer dann erzeugt, wenn die Photonenenergie eines zur Beleuchtung des Materials verwendeten Lichtstrahls den Bandabstand E_g oder die energetische Differenz zwischen einem Leitungsband und einem benachbarten Valenzband wesentlich übersteigt. Ist somit der Bandabstand E_g geringer als die Austrittsarbeit W des Materials, so wird ein Photon E mit einer Energie E , die der Beziehung $E_g < E < W$ genügt, einen photovoltaischen Strom, jedoch keinen Photoemissionsstrom erzeugen.

Das in Fig. 8 dargestellte System 81 umfaßt eine Halbleiterscheibe 33 aus elektrisch leitendem Material, eine Lichtquelle 35 zum Erzeugen eines ersten Lichtstrahls 36, der von einer Linse 37 oder einem anderen optischen Element empfangen und auf die Oberfläche auf eine der Beleuchtungsstellen 39 fokussiert wird. Die durch Photoemissionswirkung im leitenden Halbleiterscheibenmaterial unterhalb der beleuchteten Stelle erzeugten Photoelektronen werden, wie vorstehend erläutert, an einer Elektronenauffangeinrichtung 41 gesammelt, wobei die Elektronenauffangeinrichtung 41 unmittelbar über der Beleuchtungsstelle 39 angeordnet ist. Eine positive Spannungsdifferenz zwischen der Elektronenauffangeinrichtung 41 und einem Stromsensor wird durch eine Spannungsdifferenz oder eine Vorspannungseinrichtung 43 eingeprägt, wie dies in Fig. 8 gezeigt ist. Der von der Elektronenauffangeinrichtung 41 empfangene Photoelektronenstrom wird durch eine Schaltung 45 verstärkt und wie vorher als Ausgangssignal einer Signalausgangsleitung 47 zugeführt. Die Lichtquelle 35 erzeugt Photonen mit einer Energie, die größer als die Austrittsarbeit W des leitenden Materials in der Halbleiterscheibe 33 ist. Eine zweite Lichtquelle 83 erzeugt einen Lichtstrahl 84, dessen Photonen eine Energie aufweisen, die größer als der Bandabstand E_g des Halbleiterscheibenmaterials, jedoch geringer als die Austrittsarbeit W des Halbleiterscheibenmaterials ist. Der erste Lichtstrahl 36 durchläuft einen halbtransparenten Spiegel 85, ehe dieser von der Linse 37 empfangen wird. Der zweite Lichtstrahl 84 hingegen wird vom halbtransparenten Spiegel 85 reflektiert und dann von der Linse 37 zum Fokussieren auf die Beleuchtungsstelle 39 empfangen. Die beiden Lichtquellen 35 und 83 werden abwechselnd aktiviert und deaktiviert, so daß zu einem bestimmten Zeitpunkt höchstens eine dieser Lichtquellen die Stelle 39 beleuchtet.

Das vom ersten Lichtstrahl 36 erzeugte Stromsignal wird durch die Schaltung 45 verstärkt und durchläuft dann ein Zeitverzögerungsmodul 52. Das vom zweiten Lichtstrahl 84 erzeugte Stromsignal wird durch die Schaltung 46 (und die Schaltung 45) verstärkt und an eine Signalausgangsleitung 54 abgegeben, die zu einer negativen Eingangsklemme eines Differenzbildungsmoduls 56 führt. An die positive Eingangsklemme des Moduls 56 ist das zeitverzögerte Stromsignal vom Zeitverzögerungsmodul 52 (das vom ersten Lichtstrahl 36 an der gleichen Stelle erzeugte frühere Stromsignal) angelegt. Das Modul 56 subtrahiert das Stromsignal auf der Signalausgangsleitung 54 vom zeitverzögerten Ausgangssignal des Moduls 52 und gibt das entsprechende

Differenzsignal an eine Ausgangsleitung 58 ab.

Das elektrische Signal, das den von der Elektronenauffangeinrichtung 41 erzeugten Photoelektronenstrom darstellt, besteht aus zwei abwechselnden Signalfolgen:

- 1) aus einer vom ersten Lichtstrahl 36 erzeugten ersten Folge, die aus der Summe von Photoemissionsstrom und photovoltaischem Strom besteht, sowie
- 2) aus einer vom zweiten Lichtstrahl 84 erzeugten zweiten Folge, die nur aus dem photovoltaischen Strom besteht. Falls die beiden Lichtstrahlen 36 und 84 so angeordnet werden, daß der gleiche photovoltaische Strom an der Beleuchtungsstelle 39 erzeugt wird, kann die Differenz zwischen diesen beiden Signalfolgen gebildet werden, um die Wirkung des vorliegenden photovoltaischen Stromes "herauszustrahieren", so daß als Ausgangssignal nur der Photoemissionsstrom übrigbleibt.

Fig. 9 zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel 82, bei dem ebenfalls eine Kompensation eines vorliegenden photovoltaischen Stromes vorgenommen wird. Wie aus Fig. 9 ersichtlich, beleuchtet eine Lichtquelle 83, die Photonen mit einer Energie erzeugt, die größer als der Bandabstand bzw. die Energielücke E_g , jedoch geringer als die Elektronenaustrittsarbeit W ist, eine separate Stelle 89 auf dem Substrat, und zwar zu einem Zeitpunkt, der vor dem Zeitpunkt liegt, bei dem die Lichtquelle 15 die Stelle 39 beleuchtet. Es wird dabei davon ausgegangen, daß die Auswahl an Stellen, die von der Lichtquelle 83 beleuchtet werden, der Auswahl von Stellen entspricht, die vom Lichtstrahl 15 beleuchtet werden. Jedoch beleuchtet die Lichtquelle 83 jede dieser Auswahl bzw. Anhäufung von Stellen zu einem früheren Zeitpunkt im Vergleich zu dem Zeitpunkt, zu dem diese Stelle von der Lichtquelle 15 beleuchtet wird. Die zweite Lichtquelle 83 erzeugt einen Lichtstrahl 84, der durch eine zweite Linse 87 oder eine andere Lichtfokussierungseinrichtung auf die zweite Stelle 89 auf dem Substrat 33 fokussiert wird. Eine Beleuchtung der Stelle 89 durch die Lichtquelle 83 erzeugt keine durch Photoemission hervorgerufenen Elektronen, sondern einen photovoltaischen Strom im Substrat 33. Dieser photovoltaische Strom wird von einer zweiten Elektronenauffangeinrichtung 91 empfangen, die oberhalb und benachbart der zweiten Stelle 89 angeordnet ist. Die Gesamtintensität der Lichtquellen 15 und 83 sollte so eingestellt werden, daß der gleiche photovoltaische Strom unter den gleichen Bedingungen erzeugt wird, wie dies in Verbindung mit Fig. 8 erörtert wurde. Eine positive Spannung wird der zweiten Elektronenauffangeinrichtung 91 mittels einer Vorspannungseinrichtung 93 aufgeprägt, die zwischen der Elektronenauffangeinrichtung 91 und dem für diese Auffangeinrichtung vorgesehenen Stromsensor angeordnet ist.

Das von der Elektronenauffangeinrichtung 91 ermittelte Stromsignal läuft durch einen Verstärker 94 und wird einer Ausgangsleitung 95 zugeführt, die an einem Zeitverzögerungs-Modul 97 anliegt. Zu einem späteren Zeitpunkt, zu dem die Lichtquelle 15 die Stelle 89 beleuchtet, wird das (zeitverzögerte) Stromsignal für die Stelle 89 vom Zeitverzögerungsmodul 97 ausgegeben und vom auf der Ausgangsleitung 47 vorliegenden Stromsignal für die Stelle 89 subtrahiert. Die Subtraktion wird in einem Differenz-Modul 99 vorgenommen. Das Ausgangssignal dieses Differenz-Moduls 99 wird an eine Ausgangsleitung 101 angelegt und stellt den an der

Stelle 89 ermittelten Photoemissionsstrom dar, in dem der photovoltaische Strom nicht mehr enthalten ist.

Die Beleuchtung der zweiten Stelle 89 durch die Lichtquelle 83 kann der Beleuchtung der Stelle 89 durch die Lichtquelle 15 vorausgehen, statt nachzufolgen. In dieser Situation weist das der Ausgangsleitung 47 zugeführte Stromsignal eine Zeitverzögerung relativ zu dem der Ausgangsleitung 95 zugeführten Stromsignal auf.

Lichtquellen, die für die erste Lichtquelle 35 in den Fig. 2, 8 oder 9 geeignet sind, schließen kontinuierliche, tief ultraviolette Lichtquellen wie z. B. Deuterium- oder Quecksilber-Entladungslampen oder Laser mit Emissionswellenlängen von 0,4 μm ein. An der Beleuchtungsstelle sollte die Laserfluenz gering gehalten werden, um eine photochemische Zerlegung oder eine andere chemische Reaktion zu vermeiden, die sonst an dieser Stelle begünstigt wird. Die zweite Lichtquelle 83, die in den Fig. 8 und 9 dargestellt ist, sollte eine charakteristische Energie aufweisen, die geringer als die Austrittsarbeit des Halbleiterscheibenmaterials, jedoch größer als der Bandabstand E_g eines solchen Materials ist. Die zweite Lichtquelle sollte aus Lichtquellen mit ultravioletttem Licht und Lichtquellen mit sichtbarem Licht mit zugehörigen Wellenlängen unter 1,1 μm für ein Silizium-Halbleiterscheibenmaterial und unter 0,85 μm für GaAs-Halbleiterscheibenmaterial ausgewählt werden.

Das elektrisch leitende Material, das die Halbleiterscheibe ausbildet, sollte aus einem Halbleitermaterial, wie z. B. Silizium, Germanium, Gallium, Arsenmetall und polykristallinem Silizium; aus Metallen, wie z. B. Aluminium, Wolfram, Molybdän; und aus Metall-Siliziden, wie z. B. Titansilizid, Platinsilizid, Palladiumsilizid, Kobaltsilizid, Zirkoniumsilizid, Tantalasilizid, Hafniumsilizid, Niobsilizid, Vanadiumsilizid, Nickelsilizid, Wolframsilizid und Molybdänsilizid ausgewählt werden. Der spezifische Widerstand von Metallsiliziden ist im allgemeinen ziemlich niedrig und liegt gewöhnlich unter 100 Ohm-cm. Irgendein Material mit einem spezifischen elektrischen Widerstand von nicht mehr als 10^6 Ohm-cm stellt einen brauchbaren Vertreter für das bei dieser Erfindung verwendete Material der Halbleiterscheibe dar.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Feststellen der Anwesenheit von Kontaminationen und, falls vorhanden, deren Dicke an jeder einer Vielzahl von Stellen auf der Oberfläche eines elektrisch leitenden Materials, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- sequentielles Beleuchten jeder Stelle mit einem Lichtstrahl, der eine Wellenlängenkomponekte aufweist, die eine Photoelektronenemission aus dem leitenden Material anregt, das unter jeder Stelle vorliegt;
- Vorsehen einer Elektronenauffangeinrichtung zum Bestimmen des Photoelektronenstroms, der aus dem leitenden Material austritt, das unter jeder Stelle liegt; und
- elektrisches Kompensieren von kapazitiven Stromeffekten, die auf einer Änderung des Abstands zwischen der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials und der Elektronenauffangeinrichtung beruhen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Vorsehens einer Elektronenauffangeinrichtung folgende Schritte umfaßt:

- Vorsehen einer Elektronenauffangeinrichtung oberhalb und benachbart der beleuchteten Stelle zum Bestimmen des Photoelektronenstroms und
 - Vorsehen einer positiven Spannungsdifferenz zwischen der Elektronenauffangeinrichtung und dem elektrisch leitenden Material. 5
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt zum Kompensieren von kapazitiven Stromeffekten aus folgenden Schritten 10 besteht:
- Vorsehen einer zweiten Elektronenauffangeinrichtung, die seitlich versetzt zur ersten Elektronenauffangeinrichtung angeordnet ist und bezüglich der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials annähernd den gleichen Abstand aufweist, der zwischen der ersten Elektronenauffangeinrichtung und der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials vorliegt; 15
 - Vorsehen einer positiven Spannungsdifferenz zwischen der zweiten Elektronenauffangeinrichtung und dem elektrisch leitenden Material, die der positiven Spannungsdifferenz zwischen der ersten Elektronenauffangeinrichtung und der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials entspricht; und 20
 - Subtrahieren des an der zweiten Elektronenauffangeinrichtung ermittelten Photoelektronenstroms von dem an der ersten Elektronenauffangeinrichtung ermittelten Photoelektronenstroms. 25
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Vorsehens einer zweiten Elektronenauffangeinrichtung ein derartiges Positionieren der zweiten Elektronenauffangeinrichtung einschließt, daß die zweite Elektronenauffangeinrichtung nicht direkt über der beleuchteten Stelle liegt. 30
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des sequentiellen Beleuchtens das Erzeugen eines Lichtstrahls mit einer Lichtwellenlänge von höchstens $0,4 \mu\text{m}$ einschließt. 35
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt des Erzeugens einer Atmosphäre über der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials, die aus einem Gas besteht, dessen Teilchen eine relativ geringe Wahrscheinlichkeit für eine Elektronenanlagerung aufweisen. 40
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas aus der Klasse von Gasen ausgewählt wird, die aus He, Ne, Ar, Kr, Xe und N_2 besteht. 45
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Beleuchtens der Stellen auf der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials ausgeführt wird, indem die Lichtstrahlspur eine kontinuierliche Kurve ausbildet, die durch alle Stellen hindurchläuft. 50
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt des elektrischen Kompensierens eines photovoltaischen Stromes, der durch die Beleuchtung der Stellen hervorgerufen wird. 55
10. Verfahren zum Feststellen der Anwesenheit von Kontaminationen und, falls vorhanden, deren Dicke

an jeder einer Vielzahl von Stellen auf der Oberfläche eines elektrisch leitenden Materials, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- sequentielles Beleuchten jeder Stelle mit einem Lichtstrahl, der eine Wellenlängenkomponeute aufweist, die eine Photoelektronenemission aus dem leitenden Material anregt, das unter jeder Stelle vorliegt;
- Vorsehen einer Elektronenauffangeinrichtung zum Bestimmen des Photoelektronenstromes, der aus dem Material austritt, das unter jeder Stelle liegt; und
- elektrisches Kompensieren eines photovoltaischen Stromes, der durch Beleuchtung einer Stelle hervorgerufen wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Vorsehen einer Elektronenauffangeinrichtung oberhalb und benachbart der beleuchteten Stelle zum Bestimmen des Photoelektronenstroms und
 - Vorsehen einer positiven Spannungsdifferenz zwischen der Elektronenauffangeinrichtung und dem elektrisch leitenden Material. 5
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt zum Kompensieren von kapazitiven Stromeffekten aus folgenden Schritten 10 besteht:
- Vorsehen einer zweiten Elektronenauffangeinrichtung, die seitlich versetzt zur ersten Elektronenauffangeinrichtung angeordnet ist und bezüglich der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials annähernd den gleichen Abstand aufweist, der zwischen der ersten Elektronenauffangeinrichtung und der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials vorliegt; 15
 - Vorsehen einer positiven Spannungsdifferenz zwischen der zweiten Elektronenauffangeinrichtung und dem elektrisch leitenden Material, die der positiven Spannungsdifferenz zwischen der ersten Elektronenauffangeinrichtung und der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials entspricht; und 20
 - Subtrahieren des an der zweiten Elektronenauffangeinrichtung ermittelten Photoelektronenstroms von dem an der ersten Elektronenauffangeinrichtung ermittelten Photoelektronenstroms. 25
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Vorsehens einer zweiten Elektronenauffangeinrichtung ein derartiges Positionieren der zweiten Elektronenauffangeinrichtung einschließt, daß die zweite Elektronenauffangeinrichtung nicht direkt über der beleuchteten Stelle liegt. 30
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des sequentiellen Beleuchtens das Erzeugen eines Lichtstrahls mit einer Lichtwellenlänge von höchstens 0,4 µm einschließt. 40
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt des Erzeugens einer Atmosphäre über der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials, die aus einem Gas besteht, dessen Teilchen eine relativ geringe Wahrscheinlichkeit für eine Elektronenanlagerung aufweisen. 45
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas aus der Klasse von Gasen ausgewählt wird, die aus He, Ne, Ar, Kr, Xe und N₂ besteht. 50
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Beleuchtens der Stellen auf der Oberfläche des elektrisch leitenden Materials ausgeführt wird, indem die Lichtstrahlspur eine kontinuierliche Kurve ausbildet, die durch alle Stellen hindurchläuft. 55
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt des elektrischen Kompensierens eines photovoltaischen Stromes, der durch die Beleuchtung der Stellen hervorgerufen wird. 60
10. Verfahren zum Feststellen der Anwesenheit von Kontaminationen und, falls vorhanden, deren Dicke 65

an jeder einer Vielzahl von Stellen auf der Oberfläche eines elektrisch leitenden Materials, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- sequentielles Beleuchten jeder Stelle mit einem Lichtstrahl, der eine Wellenlängenkomponeute aufweist, die eine Photoelektronenemission aus dem leitenden Material anregt, das unter jeder Stelle vorliegt;
- Vorsehen einer Elektronenauffangeinrichtung zum Bestimmen des Photoelektronenstromes, der aus dem Material austritt, das unter jeder Stelle liegt; und
- elektrisches Kompensieren eines photovoltaischen Stromes, der durch Beleuchtung einer Stelle hervorgerufen wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

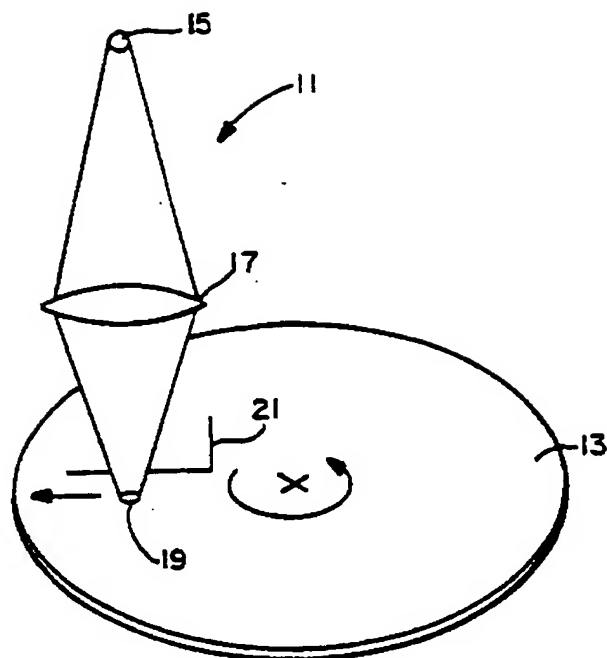


FIG-1

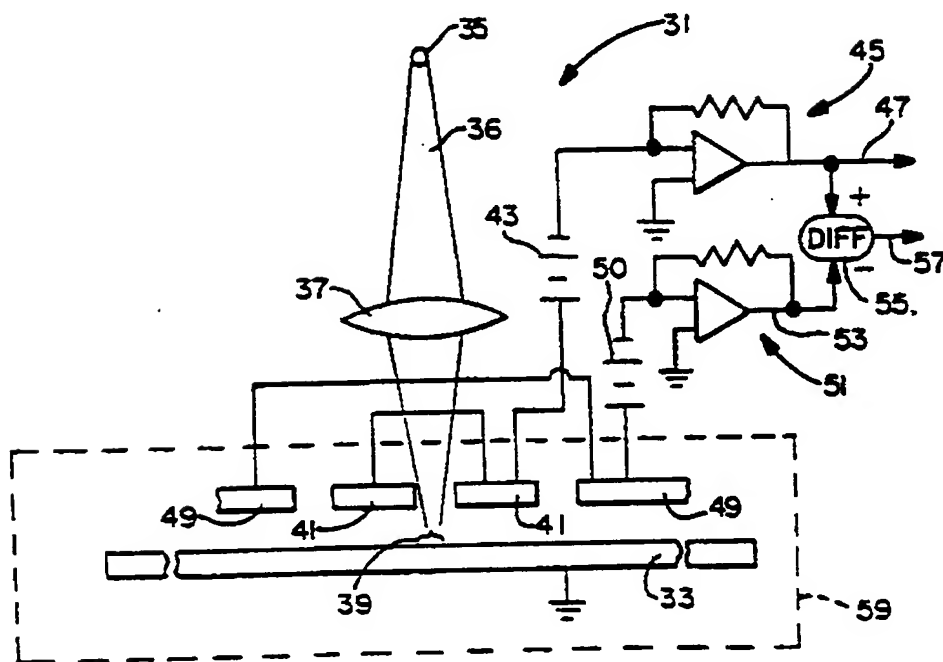


FIG-2

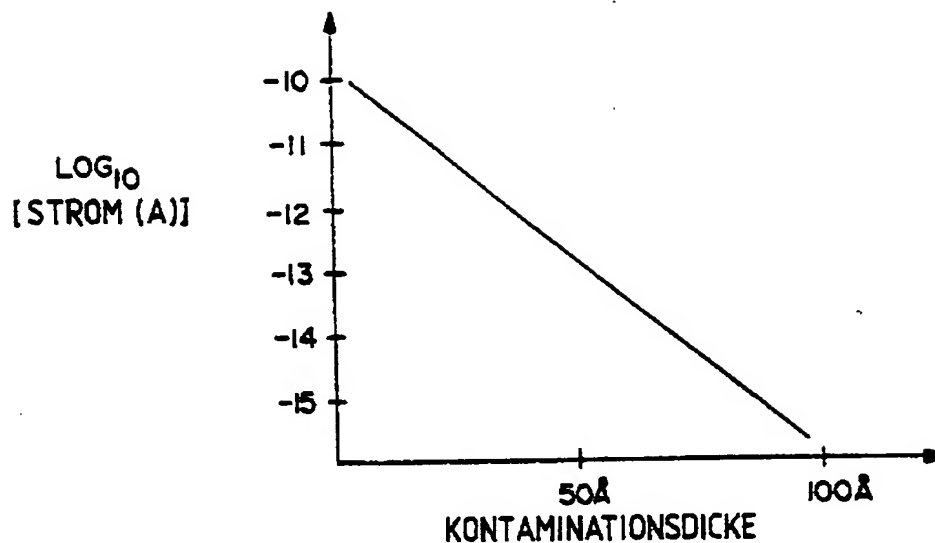


FIG.-3

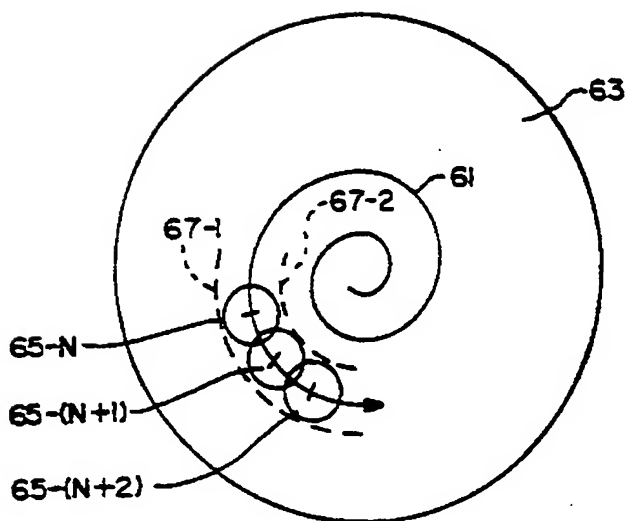


FIG.-4

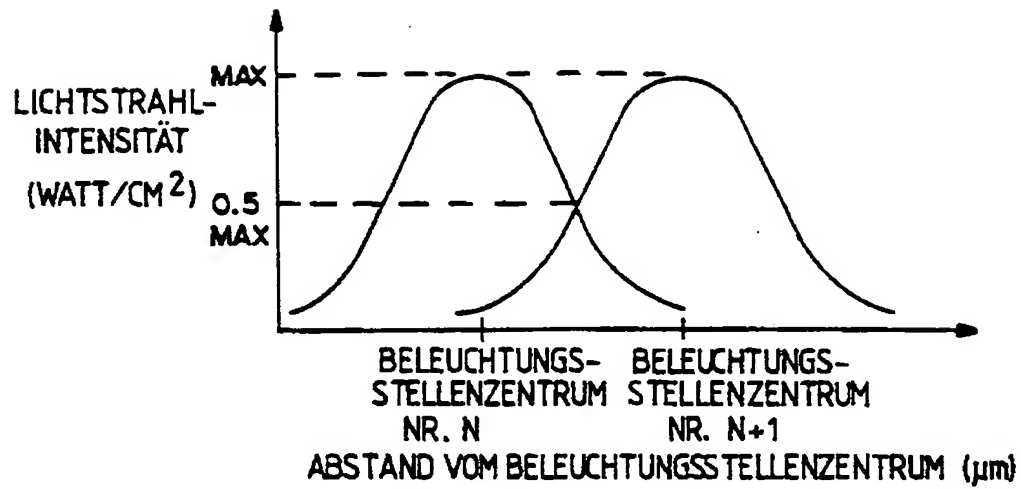


FIG-5

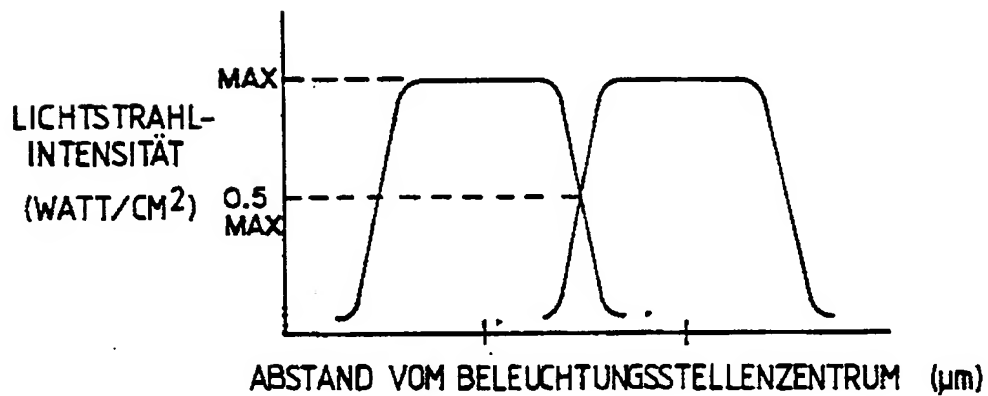
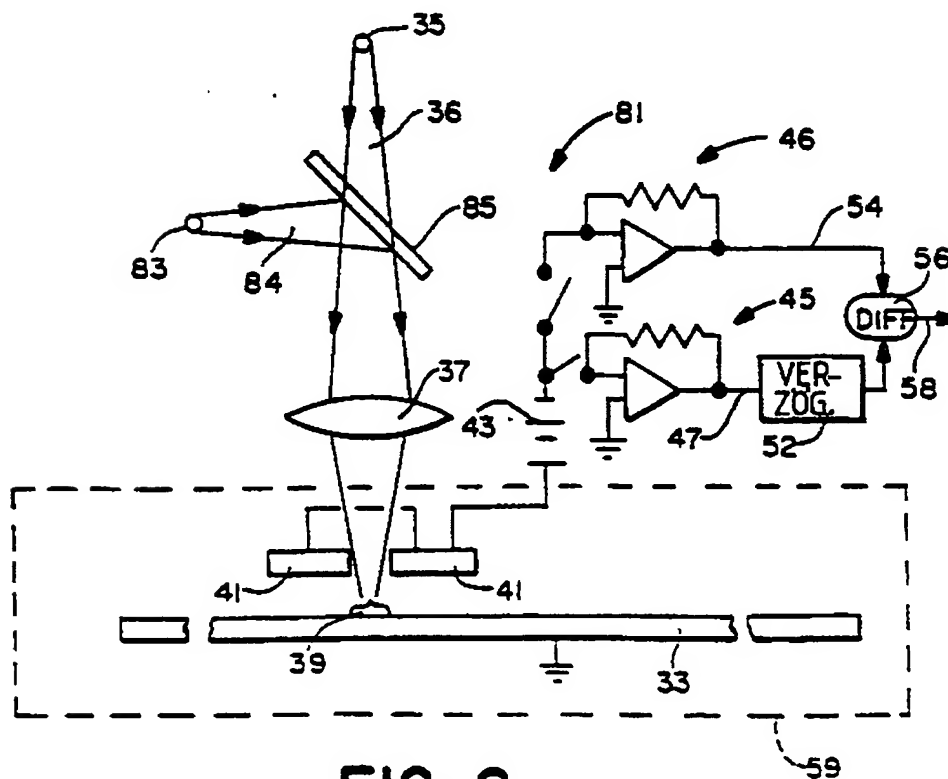
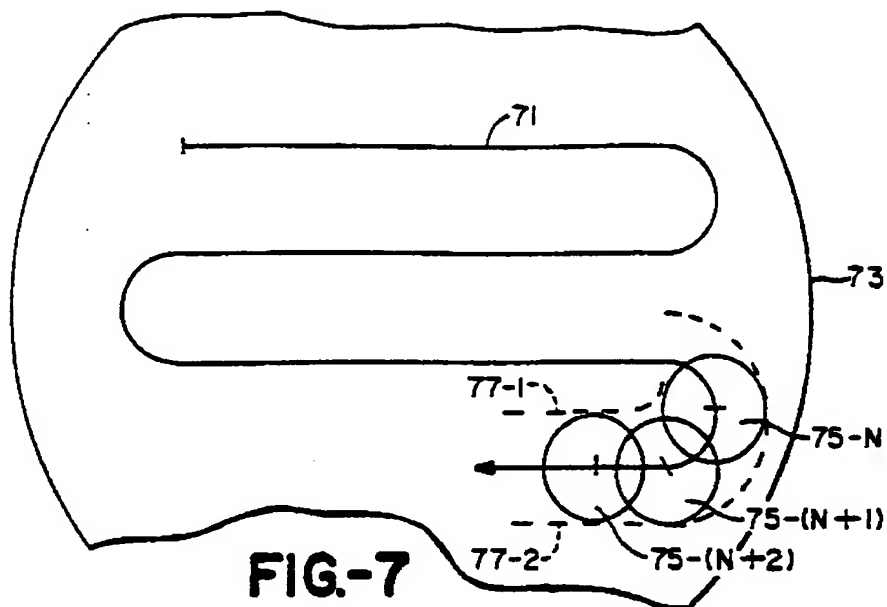


FIG-6



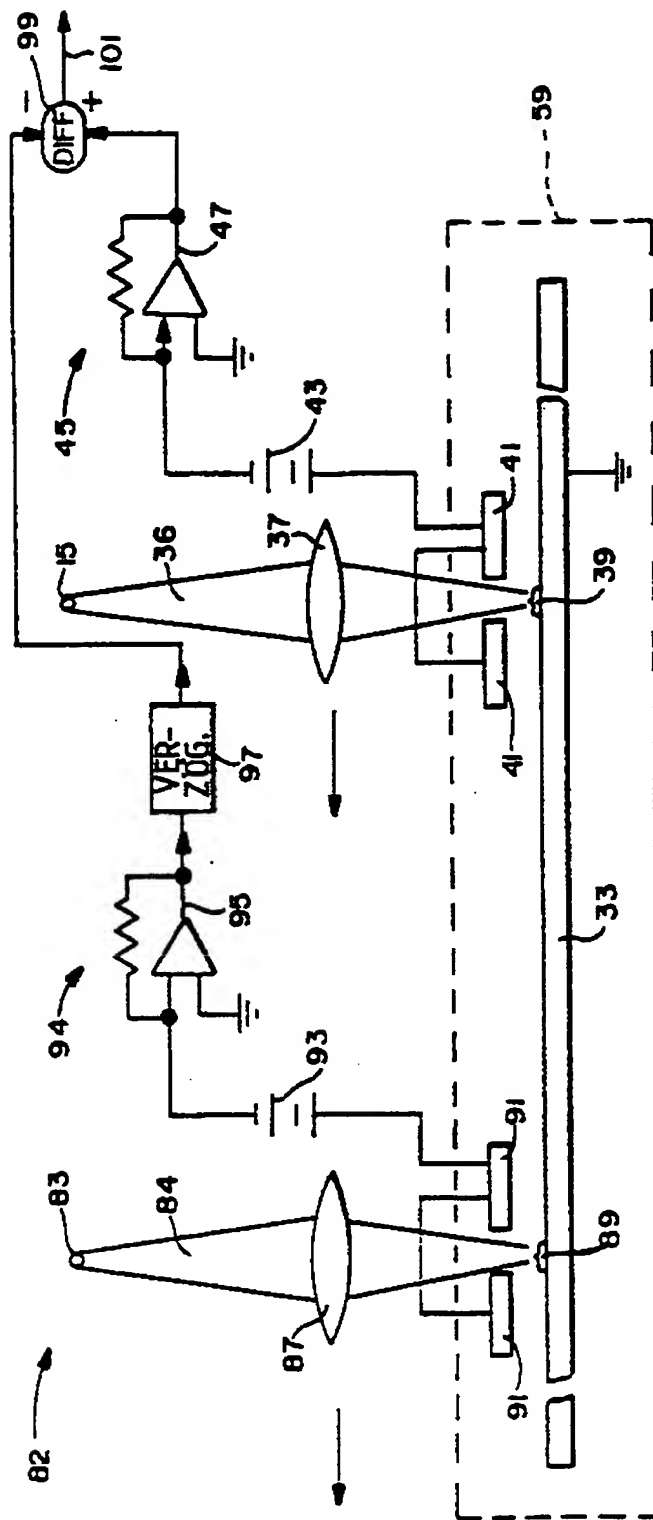


FIG.-9